CLIMATE CHANGE DIGEST

Implications of Climate Change for Downhill Skiing in Quebec

CCD 88-03

CLIMATE CHANGE DIGEST

CCD 87-01 Canadian Climate Impacts Program

CCD 87-02 Implications of Climatic Change for Agriculture in Ontario

CCD 87-03 Implications of Climatic Change for Navigation and Power Generation in the Great Lakes

CCD 87-04 Effects of a One Metre Rise in Mean Sea-Level at Saint John, New Brunswick and the Lower Reaches of the Saint John River

CCD 88-01 The Implication of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces

CCD 88-02 Preliminary Study of the Possible Impacts of a One Metre Rise in Sea Level at Charlottetown, Prince Edward Island

CCD 88-03 Implications of Climate Change for Downhill Skiing in Quebec

Environment Canada Environnement Canada

IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE FOR DOWNHILL SKIING IN QUEBEC

A summary of a Lamothe & Périard report:

"Prospective du changement climatique pour les ressources naturelles du Québec phase 1: L'industrie du ski alpin"

Prepared for
Climate Change Digest
Atmospheric Environment Service

by

Lamothe & Périard
Consultants in climatology
Sainte-Foy, Québec

with the collaboration of

Professor Joseph Litynski
Université du Québec à Trois-Rivières

DISCLAIMER

This publication contains a summary of the results of a study prepared under contract, by Lamothe et Periard, to the Canadian Climate Centre. The views and opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily state or reflect those of the Government of Canada or any agency thereof.

Single copies of this publication may be obtained, free of charge, by writing to the:

Climate Program Office
Canadian Climate Centre
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario
M3H 5T4

Copies of the complete report, "Prospective du changement climatique pour les ressources naturelles du Québec phase 1 : L'industrie du ski alpin", may be purchased by writing to:

Lamothe et Periard
Consultants en climatologie
731-5 Chanoine Scott
Ste-Foy, Québec
G1V 3M9

Published by Authority of the
Minister of the Environment

© Minister of Supply and Services
Canada 1988

Catalogue No. EN57-27/1988-03
ISBN 0-662-55770-0
ISSN 0835-3980

FOREWORD

The composition of the earth's atmosphere is undergoing a major global change. Human activities, such as deforestation, the burning of fossil fuels and even agricultural practices have significantly increased the amount of carbon dioxide and other "greenhouse gases" in the atmosphere. There is now growing scientific evidence that increasing concentrations of these gases could result, over the next few decades, in a rise of global mean temperature which is greater than any in man's history (Villach Conference, Austria, October 1985). Studies indicate that warming in the range of 1.5 - 4.5°C could be expected; in Arctic regions it is likely to be even greater.

In the past few years, there has been an escalating international awareness of the dependence of various economic sectors on climatic fluctuations and on the implications of long-term climate change. Concerns have been expressed for the potential loss of coastal areas due to anticipated global sea level rises, destruction of the habitats of innumerable plant and animal species, and disruption of world agriculture, to name a few. At the same time, climate change offers the potential for significant economic opportunity. For Canada, this is likely to include an extension of the growing season and year-round shipping on the Great Lakes. The key element in successfully adapting to these changes will be our ability to mitigate the negative effects and to take advantage of the benefits.

In recognition of the impact of climate and climatic fluctuations on society, Canada established a Canadian Climate Program (CCP) in 1978 to integrate the efforts of various federal and provincial agencies as well as the universities and the private sector in the field of climatology. The Atmospheric Environment Service (AES) of Environment Canada was given responsibility as the lead agency for the program. One of the program's components has, since 1984, focussed on research studies to assess and identify the potential social and economic impacts of climate warming expected under a doubled carbon dioxide scenario. Most of these studies have been conducted under contract by Canadian universities.

While these and other studies over the last several years have clearly shown that increasing "greenhouse gas" concentrations have the potential for profound impacts on our physical environment, the results must still be treated as preliminary. There is general scientific agreement on the direction of long-term climate change, but uncertainty in the estimates of the magnitude and timing.

It is evident that additional studies are required in order to provide planning and policy information to all levels of government and private sector users. These would further serve to identify potential mitigative and adaptive strategies and be in keeping with Environment Canada's theme of "anticipate and prevent".

G. A. Sainte-Marie
Deputy Minister
Environment Canada

PREFACE

The Canadian Climate Centre (CCC) has funded a number of studies to investigate the potential impacts, on various sectors of the Canadian economy, of climate warming expected because of the increasing concentrations in the atmosphere of the "greenhouse gases". The equivalent of a doubling of the amount of CO_2 was the situation selected.

The first issue of the Climate Change Digest identified the major socio-economic impact studies undertaken since 1984. A list of earlier titles in the series appears on the inside front cover. This issue presents the summary results of a study to determine the likely impact of climate change on downhill skiing in Québec.

The conclusion of this study is that climate change, under the selected doubled CO_2 scenario, would greatly reduce the level of downhill skiing activity in Québec, especially at those resorts without snow-making equipment. Another study, "Implications of Climate Change for Tourism and Recreation in Ontario", which will be reported in a subsequent issue of Climate Change Digest, identifies potential elimination of the downhill ski season in southern Ontario.

J.A.W. McCulloch
Director General
Canadian Climate Centre

IMPLICATIONS OF CLIMATE CHANGE

FOR DOWNHILL SKIING IN QUEBEC

1. STUDY HIGHLIGHTS

- a decrease in the number of skiable days of 50 % to 70 % for Southern Quebec.

- ski resorts equipped with snow-making devices would likely experience a smaller reduction in the number of skiable days ranging from 40 to 50 %.

- ski resorts in Eastern Townships and the Laurentians would be unlikely to operate during the Christmas holidays without significant snow-making facilities. Considering that a day of skiing brings approximately $ 34 (1981) per person into the Quebec economy, a major revenue loss would result.

2. STUDY OBJECTIVE

The main objective of this research was to evaluate the sensitivity of downhill skiing to the eventual climatic change expected due to increasing levels of atmospheric CO_2 and other greenhouse gases. The first phase of the study consisted of identifying meteorological criteria relevant to the definition of skiable days. These criteria were subsequently applied to current climate conditions; they were also applied to projected scenarios of climate change in order to gauge the impacts of a warmer climate on the alpine ski industry. Preliminary socio-economic impact assessments were then made.

3. CRITERIA USED TO DEFINE SKIABLE DAYS

In order to establish the climatic conditions that impact on downhill skiing, important meteorological elements and their threshold values for skiing were identified through a survey amongst ski resort operators. The physical and bioclimatic factors that were found to be important were:

A) Physical factors:

- snow base: a continuous and minimal snow cover of 10 cm for ski resorts equipped with snow-making facilities or 30 cm for ski centers without any snow-making equipment

- snow-making capacity: daily maximum temperatures must be below freezing for operation of snow-making equipment.

B) Bioclimatic factors:

- windchill: an equivalent temperature less than or equal to - 25 °C (wind chill factor of about 1375 W/m^2) makes the day unsuitable for downhill skiing. A favourable skiable day was an equivalent temperature greater than - 13 °C.

- rainfall: the occurrence of rain is critical for skiers. More than 3 hours of rain during the day (between 9 AM and 4 PM) or 5 hours or more between midnight and 8 AM makes the day unsuitable for skiing.

- snowfall: the occurrence of snow does not preclude downhill skiing but reduced visibilities in heavy snow may impact negatively on the skier satisfaction.

- sunshine: sunshine is considered desireable to skiers but it has no effect on the suitability of skiing.

Using these treshold values, a daily rating is arbitrarily assigned to each physical and bioclimatic factor in order to evaluate if that parameter makes that day unsuitable (rating of -5), unfavourable (0) or favourable (+1) for downhill skiing. Table I shows the threshold daily values for the three levels of satisfaction.

A day becomes skiable when the sum of individual ratings corresponding to every factor (physical and bioclimatic) is positive.

4. PRESENT DOWNHILL SKIING CONDITIONS

Using climatological data, provided by Environment Canada for Sainte-Agathe-des-Monts, Sherbrooke and Québec City, for November 1975 to April 1985, the feasibility of downhill skiing was evaluated according to the established criteria. First, the median values of the 10 cm and 30 cm seasons (start, end and duration) were analyzed. Secondly, the impact of snow-making equipment on the length of ski season was assessed assuming that the skiing season may commence whenever snow-making equipment can be utilized (daily maximum temperature below 0 °C) and ends when the snow cover decrease below the threshold values (10 cm or 30 cm). Finally, the average number of skiable (positive satisfaction index) days were calculated by 10-day periods and per year.

Table II gives the start, end and duration of the ski season assuming 4 categories of physical factors: 10 cm snow cover, 30 cm snow cover, feasibility of snow-making with a 10 cm snow cover and feasibility of snow-making with a minimum snow cover of 30 cm. From Table II, one can conclude that:

Table I. Threshold daily values for the three levels of skier satisfaction

SATISFACTION INDEX	PHYSICAL FACTORS		BIOCLIMATIC FACTORS			
	Minimum snow cover (≥ 10 cm, ≥ 30 cm)	Snow-making capacity	Equivalent temperature (mean 9 AM - 4 PM)	Occurrence of rain	Occurrence of snow (9 AM - 4 PM)	Sunshine
Unsuitable (-5)	insufficient	impossible (Tmax ≥0°C)	extreme (frostbites) (≤ - 25 °C)	significant periods of rain (> 3h between 9 AM - 4 PM or >4h between mid-night-8 AM)	not applicable	not applicable
Unfavourable (0)	not applicable	not applicable	cold (between -13 °C and -24 °C)	short periods of rain or drizzle/ freezing drizzle (between 9 AM-4 PM)	significant periods of light, moderate or heavy snow	little (≤ 2h)
Favourable (+1)	sufficient	possible (Tmax < 0°C)	mild (> -13 °C)	nil	light or nil	sunny (≥ 3h)

Table II. Characteristics of the ski season and number of skiable days between November 1st and April 30 th for four categories of physical factors.

	Sainte-Agathe-des-Monts	Sherbrooke	Québec City
A) 10 cm snow cover			
start	December 1	December 5	December 3
end	April 16	March 23	April 18
length	137	111	137
number of skiable days	109	86	105
B) 30 cm snow cover			
start	December 24	December 27	December 12
end	April 7	March 16	April 13
length	110	78	126
number of skiable days	84	54	84
C) Feasibility of snow-making assuming a 10 cm snow cover			
start	November 25	December 2	November 30
end	April 16	March 23	April 18
length	143	112	138
number of skiable days	121	97	109
D) Feasibility of snow-making assuming a 30 cm snow cover			
start	November 25	December 2	November 30
end	April 7	March 16	April 13
length	136	106	132
number of skiable days	111	87	100

- the ski season generally begins in the first week of December (threshold of 10 cm). It ends at the end of March for Sherbrooke but continues until mid-April at Sainte-Agathe-des-Monts and Québec City. The use of snow-making equipment brings only a marginal increase to the length of the ski season.

- for a minimum cover of 30 cm, the length of the ski season at Sherbrooke decrease by 33 days compared to the 10 cm cover going from 111 days to 78 days. The impact is less dramatic in Québec City and Sainte-Agathe-des-Monts with a decrease in the duration of the season of 11 days and 27 days respectively. Ski centers equipped with snow-making devices would lengthen the season of 30 cm snow cover by about 36 % at Sherbrooke, 24 % at Sainte-Agathe-des-Monts and only 5 % at Québec City.

Figures 1 to 3 show the frequency of skiable days by 10-day periods for Sainte-Agathe-des-Monts, Sherbrooke and Québec City. At the three sites, 50 % of the days are skiable at the beginning of December for a 10 cm snow cover and by the end of December for a snow cover of 30 cm.

The number of skiable days is almost nil after mid-March at Sherbrooke and mid-April at Sainte-Agathe-des-Monts and Québec City. Snow-making would not provide any additional days this late in the season.

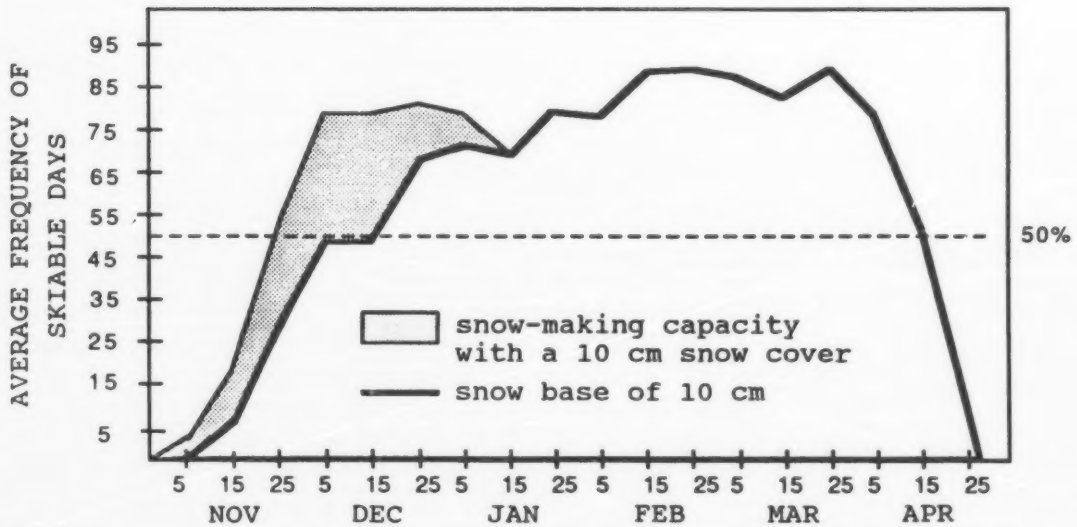
For the normal ski season (November to April), Sainte-Agathe averages 109 days with at least 10 cm of snow cover and 84 days with 30 cm or more. If snow-making equipment is used, the number of days increases to 120 and 110 days respectively.

At Sherbrooke, 86 days are favourable for downhill skiing with a 10 cm snow cover and only 54 days with 30 cm or more. With snow-making, the increase is minimal in the first case but significant for a minimum snow cover of 30 cm.

For Québec City, 105 days are skiable with 10 cm and 84 days with the 30 cm level. As seen before, it is primarily for 30 cm requirement that the use of snow-making equipment is most profitable since its use will increase the number of skiable days to 100.

Overall, ski resorts in the Eastern Townships can derive the most benefit from the use of snow-making equipment.

These results must be seen as conservative. The determination of a skiable season was based on the 10 and 30 cm coverage levels as suggested by the resort operators and these values are far more stringent than those proposed in other Canadian studies. Also, a continuous snow cover was considered which is much more limiting than using the date of the first snowfall and the date of disappearance of the last snow. If this method had been used, the length of the seasons would have been much



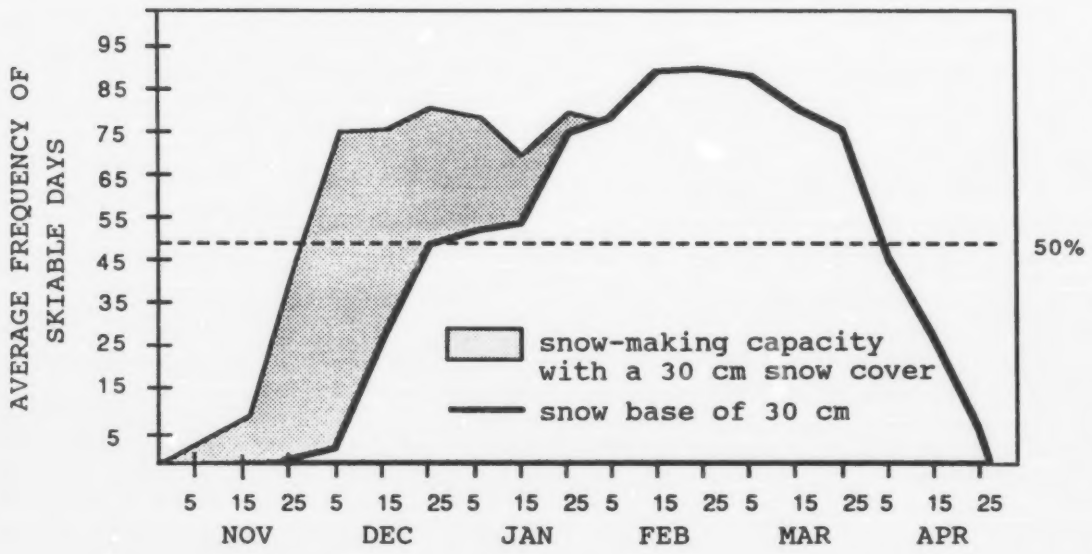


FIGURE 1. Frequency of skiable days per 10-day intervals at Sainte-Agathe-des-Monts

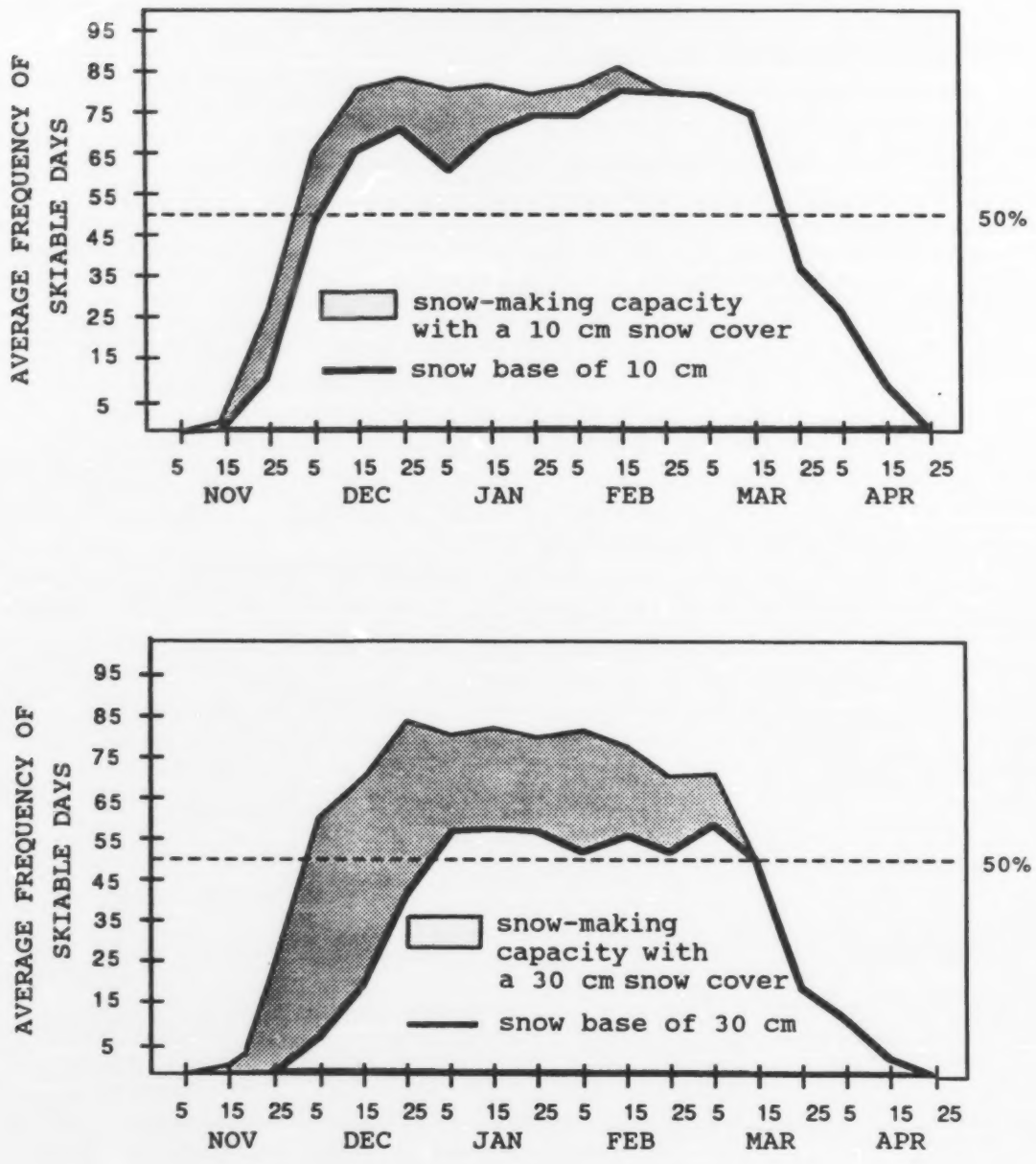
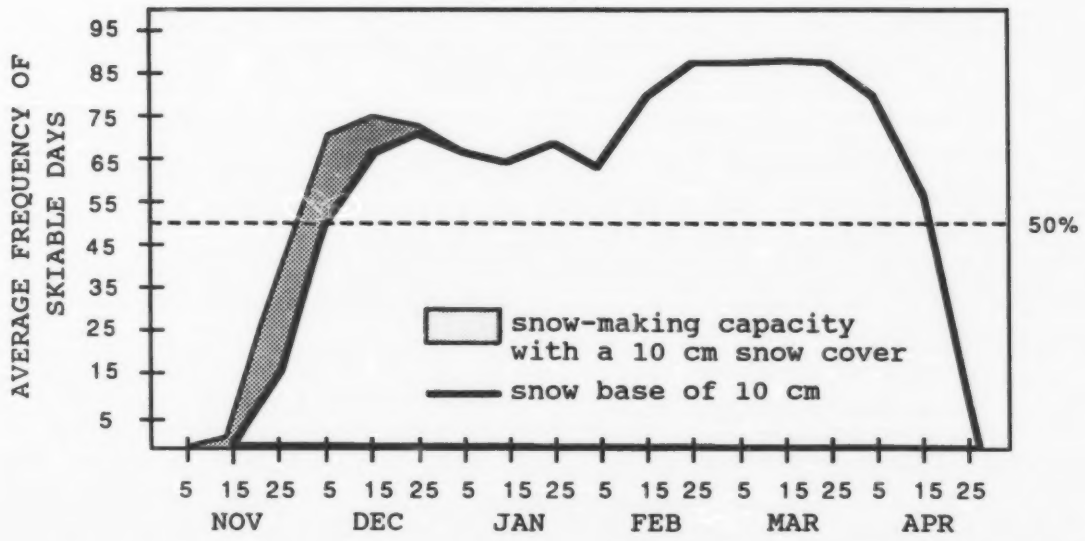


FIGURE 2. Frequency of skiable days per 10-day intervals at Sherbrooke



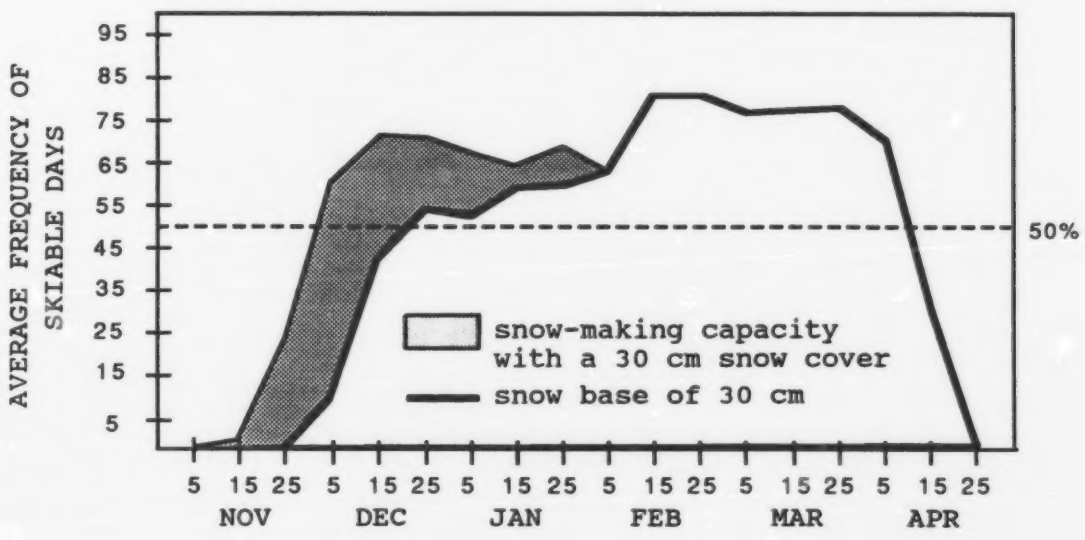


FIGURE 3. Frequency of skiable days per 10-day intervals at Québec City

longer. Also, the criteria of a daily maximum temperature below 0 °C for snow-making is reasonable but very restrictive.

Finally, if the ten-year period of 1975-1985 is compared to the period 1951-1980, it can be seen that during this decade, there was more rain and less snow than the average for the 30-year period. An analysis of downhill skiing for the 1951-1980 period would therefore have resulted in higher numbers for skiable days.

5. PROJECTED DOWNHILL SKIING CONDITIONS

Two climate change scenarios used in this study and provided by Environment Canada were derived from the outputs of two General Circulation models: the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Model (Scenario A) and the Goddard Institute for Space Studies Model (Scenario B). Both scenarios provided projected changes in monthly temperature and precipitation. However, for simplicity, it was decided to choose only the more pessimistic scenario (Scenario B) which projects a warming of 4-5 °C throughout the ski season. In addition to milder temperatures, precipitation according to scenario B is expected to decrease by 10 to 20 % in the first months of winter (November-December) and generally remain near the current climatological values for the rest of the ski season.

In order to gauge the likely impact of climatic change on downhill skiing, existing data on daily climatological conditions were projected to those values given in scenario B. A statistical model was also developed to estimate daily values of snow cover. Median values of anticipated ski seasons (start, end, duration) were then re-calculated using the projected daily data. Table III gives the impacts of a Scenario B climate change on the mean annual number of skiable days for four categories of physical factors (snow cover and feasibility of snow-making).

The number of skiable days diminish by 50 to 70 % for a threshold snow cover of 10 cm and by 70 to 90 % for a 30 cm threshold. The use of snow-making equipment could limit this decrease to about 50 %. For example, in Sainte-Agathe, a 10 cm snow cover season would likely begin in mid-January and last only one month. For a 30 cm threshold, it is even worse with a ski season length of about 2 weeks, starting in early February. Even with the addition of snow-making equipment, the skiable period would only begin at Christmas and end in February for a two month total.

At Sherbrooke, the season at the 10 cm level would begin at the end of January whereas for 30 cm there would be only a few skiable days. Snow-making would only extend the season from early January to mid-February.

Finally, in Québec City, for a 10 cm minimum snow cover, the season would last about a month-and-a-half starting at Christmas. For the 30 cm cover, the length of the season would be approximately 1 month ending in mid-February. A large increase in skiable days is possible

Table III. Mean annual number of skiable days for actual and projected conditions for 4 categories of physical factors

	Sainte-Agathe-des-Monts			Sherbrooke			Québec City		
	Actual	Scenario B	% reduction	Actual	Scenario B	% reduction	Actual	Scenario B	% reduction
- 10 cm snow cover	109	36	67	86	27	69	105	51	51
- 30 cm snow cover	84	11	87	54	7	87	84	25	70
- Feasibility of snow with a minimum snow cover of 10 cm	121	60	50	97	51	47	109	63	42
- Feasibility of snow with a minimum snow cover of 30 cm	111	58	48	87	49	44	100	58	42

with snow-making operations which could extend the season from mid-December to early March.

The climatic change suggested in scenario B would greatly reduce, in the province of Quebec, the level of activity in downhill skiing. There are, however, several factors which would indicate that the impact might not be as negative as predicted. First, scenario B is the more pessimistic of the two scenarios on climate change. Next, the criteria used in the definition of a skiable day are restrictive. Thirdly, data from meteorological stations may not accurately reflect the snow coverage prevailing on the slopes. Finally, only one decade (1975-1985) of data was supplied and thus might not be totally representative of average conditions (1951-1980).

6. SOCIO-ECONOMIC IMPACTS

Based on a study done by CEGIR in 1982 for the Department of Regional Economic Expansion and Tourism Canada, the downhill ski industry generates more than 12 500 jobs and $ 205 million in revenue for Quebec annually. It was estimated that a day of skiing brings $ 34 (1981) per person into the Quebec economy. In fact, a poor ski season such as in 1982-1983 (considered abnormal since 30 cm coverage was restricted to January and February) had revenues of only $ 126 million. The following year which saw more favourable conditions, generated $ 240 million in revenue, twice the amount of the 1982-83 season.

It must be noted that, for a number of reasons, the socio-economic impacts of climatic change on the industry would not necessarily be proportional to the reduction in the annual number of skiable days:

a) In spite of a shorter season projected by Scenario B, skier traffic and, therefore, revenues may increase during favourable skiing periods. Ski resort operators would therefore have to increase lift capacity, acquire additional snow-making equipment and ensure the proper grooming of slopes.

b) There may also be an increase of tourists from outside Quebec, depending upon the ski conditions in neighbouring provinces or states. As an example, increased numbers of skiers from Ontario might be expected, since other studies have suggested climate change might cause the downhill skiing industry to disappear in Southern Ontario. It is much more difficult to evaluate the influx of tourists from the United States, since the majority of their ski centers are located at higher altitudes and are well-equipped for snow making. Generally speaking, an increase in the number of tourists would benefit the local economy particularly in those sectors providing food, accommodation, lodging and other related services.

c) Except for the Québec City area, ski resorts in Eastern Townships and the Laurentians located at altitudes similar to Sherbrooke and Sainte-Agathe could not hope to operate during the Christmas holidays without significant snow-making equipment. That would result in a major revenue loss potential.

In conclusion, the projected climatic changes would impose a gradual adaptation and a widespread reliance on snow-making equipment, especially in Eastern Townships.

SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Répercussions d'un changement climatique sur l'industrie du ski alpin au Québec

SCC 88-03

SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

SCC 87-01 Programme canadien des incidences climatologiques

SCC 87-02 Conséquences de changement climatique sur l'agriculture en Ontario

SCC 87-03 Répercussions d'un changement de climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs

SCC 87-04 Effets d'un hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer a Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean

SCC 88-01 Répercussions du changement climatique sur l'agriculture dans les Provinces des Prairies

SCC 88-02 Étude préliminaire des effets éventuels d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer a Charlottetown, dans l'Ile-du-Prince-Édouard

SCC 88-03 Répercussions d'un changement climatique sur l'industrie du ski alpin au Québec

Environnement Canada Environment Canada

RÉPERCUSSIONS D'UN CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'INDUSTRIE DU SKI ALPIN AU QUÉBEC

Résumé du rapport de Lamothe & Périard:

"Prospective du changement climatique pour les ressources naturelles du Québec phase 1: L'industrie du ski alpin"

Préparé pour le
Sommaire du changement climatique
Service de l'environnement atmosphérique

Présenté par

Lamothe & Périard
Consultants en climatologie
Sainte-Foy, Québec

avec la collaboration de

Professeur Joseph Litynski
Université du Québec à Trois-Rivières

DÉNÉGATION DE RESPONSABILITÉ

La présente publication renferme le résumé des résultats d'un étude menée en vertu d'un contrat par Lamothe et Periard pour le Centre climatologique canadien. Les avis et opinions qui y sont exprimés sont ceux des auteurs. Ils n'expriment, ni ne reflètent nécessairement ceux du gouvernment du Canada ou de tout organisme de celui-ci.

Pour obtenir à titre gracieux des exemplaires de cette publication, écrire au :

Bureau du programme climatologique
Centre climatologique canadien
4905 Rue Dufferin
Downsview (Ontario)
M3H 5T4

Pour acheter des exemplaires du rapport complet, "Prospective du changement climatique pour les ressources naturelles du Québec phase 1 : L'industrie du ski alpin", écrire à :

Lamothe et Periard
Consultants en climatologie
731-5 Chanoine Scott
Ste-Foy, Québec
G1V 3M9

Publie avec l'autorisation du
ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 1988

No de catalogue EN57-27/1988-03
ISBN 0-662-55770-0
ISSN 0835-3980

AVANT-PROPOS

L'atmosphère terrestre subit de grands changements dans sa composition à l'échelle mondiale. Les activités humaines, comme le déboisement, l'utilisation des combustibles fossiles et, même, les opérations agricoles ont nettement accru la quantité de gaz carbonique et d'autres "gaz de serre" de l'atmosphère. Il est de mieux en mieux établi du point de vue scientifique que l'accroissement de la concentration de ces gaz pourrait entraîner, au cours des prochaines décennies, une augmentation de la température moyenne mondiale supérieure à toute autre augmentation survenue depuis l'arrivée de l'homme sur terre (cf. conférence de Villach, Australie, octobre 1985). D'après les études, on pourrait s'attendre à un réchauffement mondial moyen de 1,5 à 4,5 °C; dans les régions arctiques, il est probable que ce réchauffement sera encore plus élevé.

Ces dernières années, on a de plus en plus pris conscience, à l'échelon international du fait que divers secteurs économiques sont tributaires des fluctuations climatiques et des répercussions du changement climatique à long terme. On appréhende la perte éventuelle de zones côtières due à la hausse mondiale prévue du niveau des mers, à la destruction des habitats d'innombrables espèces végétales et animales et à la perturbation de l'agriculture mondiale, pour ne citer que quelques sujets de préoccupation. Par la même occasion, le changement climatique offre éventuellement d'intéressantes possibilités économiques. Pour le Canada, celles-ci comprennent sans doute une prolongation de la saison de croissance et une navigation marchande active à longueur d'année sur les Grands Lacs. L'élément clef d'une bonne adaptation à ces changements sera notre aptitude à atténuer les effets négatifs et à tirer parti des avantages.

Ayant reconnu l'effet du climat et des fluctuations climatiques sur la société, le Canada a, en 1978, établi un Programme climatologique canadien pour intégrer les efforts de divers organismes fédéraux et provinciaux, ainsi que des universités et du secteur privé, dans le domaine de la climatologie. On a confié la responsabilité du programme au Service de l'environnement atmosphérique (SEA), d'Environnement Canada. Ce service est donc l'organisme responsable en la matière. Depuis 1984, un des éléments du programme se concentre sur les études de recherche destinées à évaluer et à déterminer les effets sociaux et économiques éventuels du réchauffement climatique auquel on s'attend suivant un scénario où la concentration de gaz carbonique doublerait. La plupart de ces études furent menées en vertu de contrats par des universités canadiennes.

Ces études et d'autres études réalisées au cours des dernières années ont clairement montré que l'accroissement des concentrations de "gaz de serre" peut bel et bien exercer des effets profonds sur notre milieu physique, mais il faut encore en considérer les résultats comme préliminaires. Les scientifiques s'entendent assez bien sur l'évolution du changement climatique à long terme, mais il existe de l'incertitude dans les estimations de l'ampleur et des échéances.

Il va de soi qu'il faut d'autres études pour fournir des renseignements de planification et d'orientation à tous les paliers d'administration et aux usagers du secteur privé. Ces études aideraient encore à établir les stratégies éventuelles d'atténuation et d'adaptation et répondraient au thème d'Environnement Canada : "Prévoir pour prévenir."

G.A. Sainte-Marie
Sous-ministre
Environnement Canada

PRÉFACE

Le Centre climatologique canadien (CCC) a financé plusieurs études touchant les effets éventuels, sur divers secteurs de l'économie canadienne, du réchauffement du climat prévu du fait de la concentration croissante des "gaz de serre" dans l'atmosphère. On a retenu le cas d'une quantité deux fois plus importante de CO_2.

Le premier numéro du Sommaire du changement climatique indique les principales études de prospective socio-économique entreprises depuis 1984. La liste des titres antérieurs de la série figure au verso de la première page de couverture. Le présent numéro donne les résultats sommaires d'une étude destinée à déterminer l'effet probable du changement climatique sur l'industrie du ski alpin au Québec.

Cette étude conclut que les effets du changement climatique, dans des scénarios de doublement du CO_2, réduiraient grandement les possibilités de pratiquer le ski alpin au Québec, plus spécialement aux centres de ski qui n'ont pas d'équipement pour la neige artificielle. Une autre étude, "Implications of Climate Change for Tourism and Recreation in Ontario", dont on rendra compte dans un numéro ultérieur du Sommaire du changement climatique, indique potentiellement l'elimination de la saison du ski alpin dans le sud de l'Ontario.

J.A.W. McCulloch
Directeur général
Centre climatologique canadien

RÉPERCUSSIONS D'UN CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'INDUSTRIE DU SKI ALPIN AU QUÉBEC

1. FAITS SAILLANTS

- le nombre de jours skiables sur le sud du Québec diminuera de 50 à 70 %.

- les centres de ski équipés pour fabriquer de la neige artificielle auront une réduction moins prononcée (de 40 à 50 %) du nombre de jours skiables.

- les centres de ski situés en Estrie et dans les Laurentides qui ne possèdent pas de canons à neige artificielle ne pourront pas fonctionner au cours du congé de Noël. Considérant qu'une journée de ski injecte environ 34 $ (1981) par personne dans l'économie québécoise, des pertes importantes de revenus sont donc prévisibles.

2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif général de cette étude est d'évaluer la sensibilité du ski alpin face à un éventuel changement climatique causé par une augmentation du CO_2 atmosphérique et autres gaz à effet de serre. La première partie du travail consiste à identifier les critères météorologiques pertinents à la définition d'une journée skiable. En utilisant les conditions climatiques actuelles et celles prévues selon les scénarios de changement climatique, ces critères sont ré-utilisés pour estimer les impacts d'un climat plus chaud sur l'industrie du ski alpin et pour en évaluer grossièrement les retombées socio-économiques.

3. CRITÈRES DÉFINISSANT UNE JOURNÉE SKIABLE

Afin d'identifier les conditions climatiques naturelles qui permettent ou restreignent la pratique du ski alpin, le choix des variables météorologiques pertinentes et de leurs valeurs-seuils a été déterminé à la suite d'un sondage auprès des exploitants de centres de ski. On en déduit que les facteurs physiques et bioclimatiques jouant un rôle important dans la pratique du ski alpin sont:

A) Facteurs physiques:

- Couverture nivale: une épaisseur minimale et continue de neige au sol de 10 cm pour les centres de ski équipés de canons à neige ou de 30 cm pour les stations de ski n'ayant aucun équipement pour fabriquer de la neige artificielle.

- Faisabilité de neige artificielle: la fabrication de neige artificielle n'est possible que si la température maximale quotidienne est inférieure à 0 °C.

B) Facteurs bioclimatiques:

- Refroidissement éolien: le ski alpin devient impraticable si la température équivalente est inférieure à -25 °C, soit un refroidissement éolien d'environ 1375 W/m^2. Avec une température équivalente supérieure à -13 °C, les conditions de ski deviennent favorables.

- Pluie: la pluie est critique pour les skieurs. Le ski devient impraticable si on observe plus de 3 heures de pluie entre 09 h et 16 h ou 5 heures ou plus entre minuit et 08 h.

- Neige: ce sont les visibilités réduites dans la neige et non pas la chute de la neige elle-même qui peuvent altérer négativement la satisfaction du skieur.

- Ensoleillement: l'ensoleillement est un facteur positif car il attire le skieur.

Utilisant ces valeurs-seuils, chaque facteur physique et bioclimatique est coté quotidiennement de façon arbitraire afin de nous permettre d'évaluer si le paramètre en question rend le ski alpin impraticable (cote de -5), défavorable (0) ou favorable (+1). Le tableau I indique les valeurs-seuils quotidiennes des facteurs physiques et bioclimatiques pour les trois niveaux de satisfaction.

Une journée skiable est donc définie comme une journée où la somme des cotes individuelles correspondant à chaque facteur (physique et bioclimatique) est positive.

4. CONDITIONS ACTUELLES DU SKI ALPIN

En utilisant les données climatologiques d'Environnement Canada entre novembre 1975 et avril 1985 pour les stations de Sainte-Agathe-des-Monts, Sherbrooke et Québec, on évalue la pratique actuelle du ski alpin selon les critères énoncés ci-haut. D'abord, on analyse les valeurs médianes de la couche nivale (de 10 et de 30 cm) pour les différentes saisons de ski. Puis, afin d'étudier l'influence des canons à neige sur leur durée, on fait l'hypothèse que la saison débute au moment où il est possible de fabriquer de la neige (température maximale quotidienne in-

Tableau I. Valeurs-seuils utilisées quotidiennement et caractérisant les 3 niveaux de satisfaction

NIVEAU DE SATISFACTION (cote)	FACTEURS PHYSIQUES		FACTEURS BIOCLIMATIQUES			
	Couverture nivale minimale (≥ 10 cm, ≥ 30 cm)	Faisabilité de neige artificielle	Température équivalente (moyenne 09 h - 16 h)	Occurrence de pluie	Occurrence de neige (09 h - 16 h)	Ensoleillement
Impraticable (-5)	insuffisante	impossible (Tmax ≥0°C)	dangereuse (engelures) (≤ - 25 °C)	pluie persistante (> 3h entre 09 h et 16 h ou > 4 h entre minuit et 08 h)	non pertinent	non pertinent
Défavorable (0)	non pertinent	non pertinent	froide (entre -13 °C et -24 °C)	courte pluie ou bruine/bruine verglaçante (entre 09 h - 16 h)	persistance d'une neige légère, modérée ou forte	faible (≤ 2h)
Favorable (+1)	suffisante	possible (Tmax < 0°C)	douce (> -13 °C)	nulle	légère ou pas de neige	ensoleillé (≥ 3h)

Tableau II. Caractéristiques de la saison de ski et nombre moyen de jours skiables entre le 1er novembre et le 30 avril pour quatre catégories de facteurs physiques

	Sainte-Agathe-des-Monts	Sherbrooke	Québec
A) Couverture nivale de 10 cm			
début	1er décembre	5 décembre	3 décembre
fin	16 avril	23 mars	18 avril
durée	137	111	137
nombre de jours skiables	109	86	105
B) Couverture nivale de 30 cm			
début	24 décembre	27 décembre	12 décembre
fin	7 avril	16 mars	13 avril
durée	110	78	126
nombre de jours skiables	84	54	84
C) Faisabilité de neige artificielle supposant une couverture de 10 cm			
début	25 novembre	2 décembre	30 novembre
fin	16 avril	23 mars	18 avril
durée	143	112	138
nombre de jours skiables	121	97	109
D) Faisabilité de neige artificielle supposant une couverture de 30 cm			
début	25 novembre	2 décembre	30 novembre
fin	7 avril	16 mars	13 avril
durée	136	106	132
nombre de jours skiables	111	87	100

férieure à 0 °C) et que la saison se termine lorsque l'épaisseur de neige au sol glisse sous les valeurs-seuils (10 cm ou 30 cm). Finalement, la fréquence moyenne des jours skiables est calculée par décade et pour l'année.

Le tableau II donne le début, la fin et la durée de la saison de ski considérant quatre catégories de facteurs physiques: couverture nivale de 10 cm, épaisseur de neige au sol de 30 cm, faisabilité de neige artificielle combinée à une couverture nivale de 10 cm et faisabilité de neige artificielle avec une base nivale de 30 cm. Les résultats du tableau II montrent que:

- la saison de ski débute habituellement dans la première semaine de décembre compte tenu d'une épaisseur minimale de neige au sol de 10 cm. La saison se termine à la fin de mars à Sherbrooke mais se prolonge jusqu'à la mi-avril à Sainte-Agathe-des-Monts et à Québec. L'utilisation de canons à neige n'apporte qu'une faible augmentation de la durée de la saison de ski.

- pour une épaisseur minimale de neige de 30 cm plutôt que 10 cm, la durée de la saison de ski à Sherbrooke chute de 33 jours, passant de 111 à 78 jours. Ce raccourcissement de la saison est beaucoup moins marqué à Québec et à Sainte-Agathe-des-Monts avec une diminution de 11 et 27 jours respectivement. Les centres de ski équipés de canons à neige allongeraient leur saison de 30 cm d'environ 36 % à Sherbrooke, de 24 % à Sainte-Agathe-des-Monts et seulement de 5 % à Québec.

Les figures 1 à 3 montrent la variation décadaire du nombre de jours skiables à Sainte-Agathe-des-Monts, Sherbrooke et Québec. À ces trois sites, 50 % des jours deviennent skiables après le début de décembre pour une épaisseur de neige au sol de 10 cm et vers la fin décembre pour une couverture nivale de 30 cm.

Le nombre de jours skiables chute grandement après la mi-mars pour Sherbrooke et à la mi-avril pour Sainte-Agathe-des-Monts et Québec. La présence d'équipement de neige artificielle ne procure aucun jour supplémentaire à ce stade de la saison.

Pour une saison normale de ski (novembre à avril), Sainte-Agathe a en moyenne 109 jours d'opération avec une couverture nivale d'au moins 10 cm et 84 jours avec une base de 30 cm. L'utilisation de canons à neige monte le nombre de jours skiables à 120 et 110 jours respectivement.

À Sherbrooke, 86 jours sont skiables pour un seuil de 10 cm et seulement 54 jours avec une épaisseur nivale de 30 cm et plus. Avec un équipement de neige artificielle, l'augmentation est faible dans le premier cas mais très avantageuse pour le seuil de 30 cm.

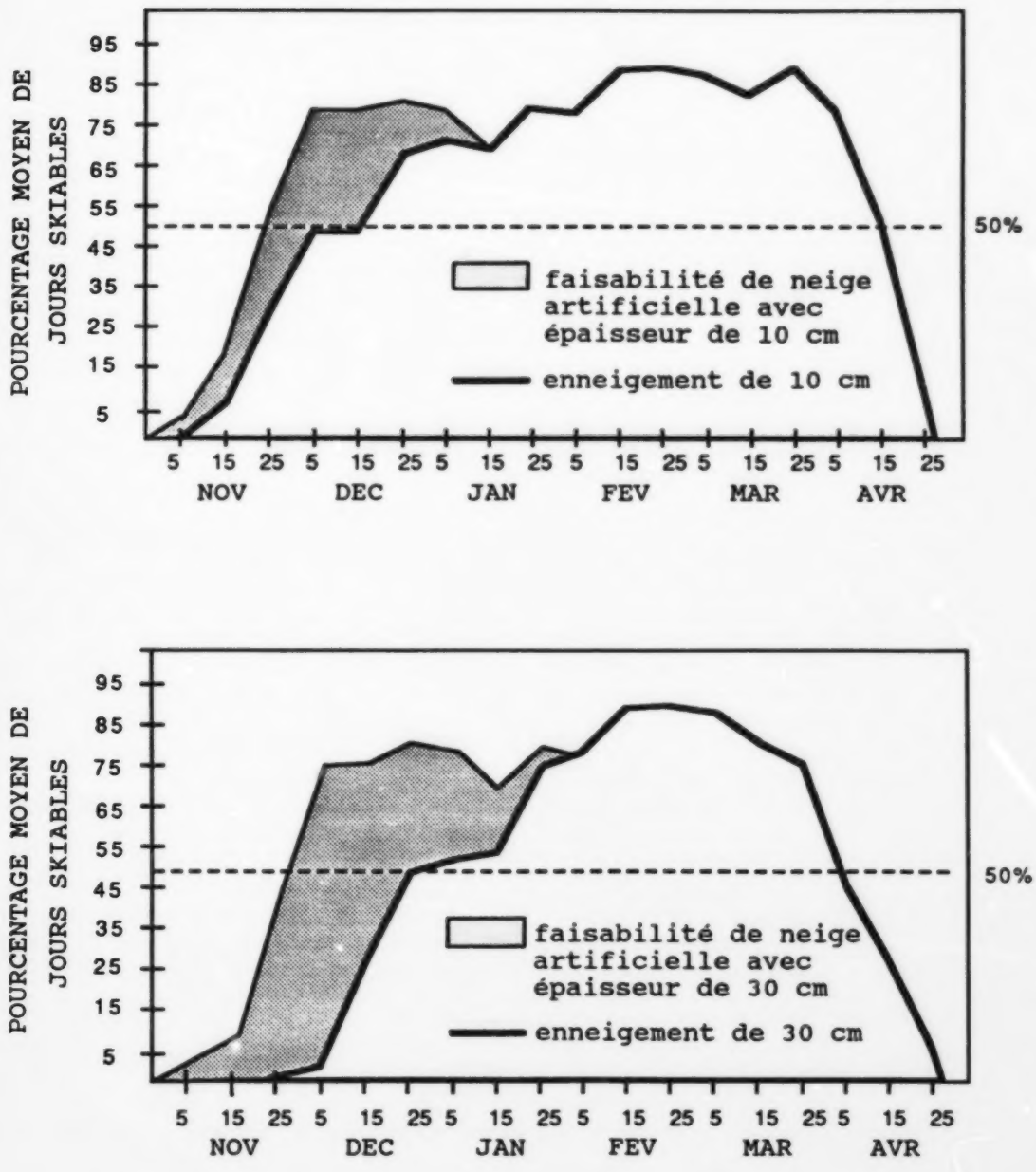


FIGURE 1. Variation décadaire des jours skiables à Sainte-Agathe-des Monts

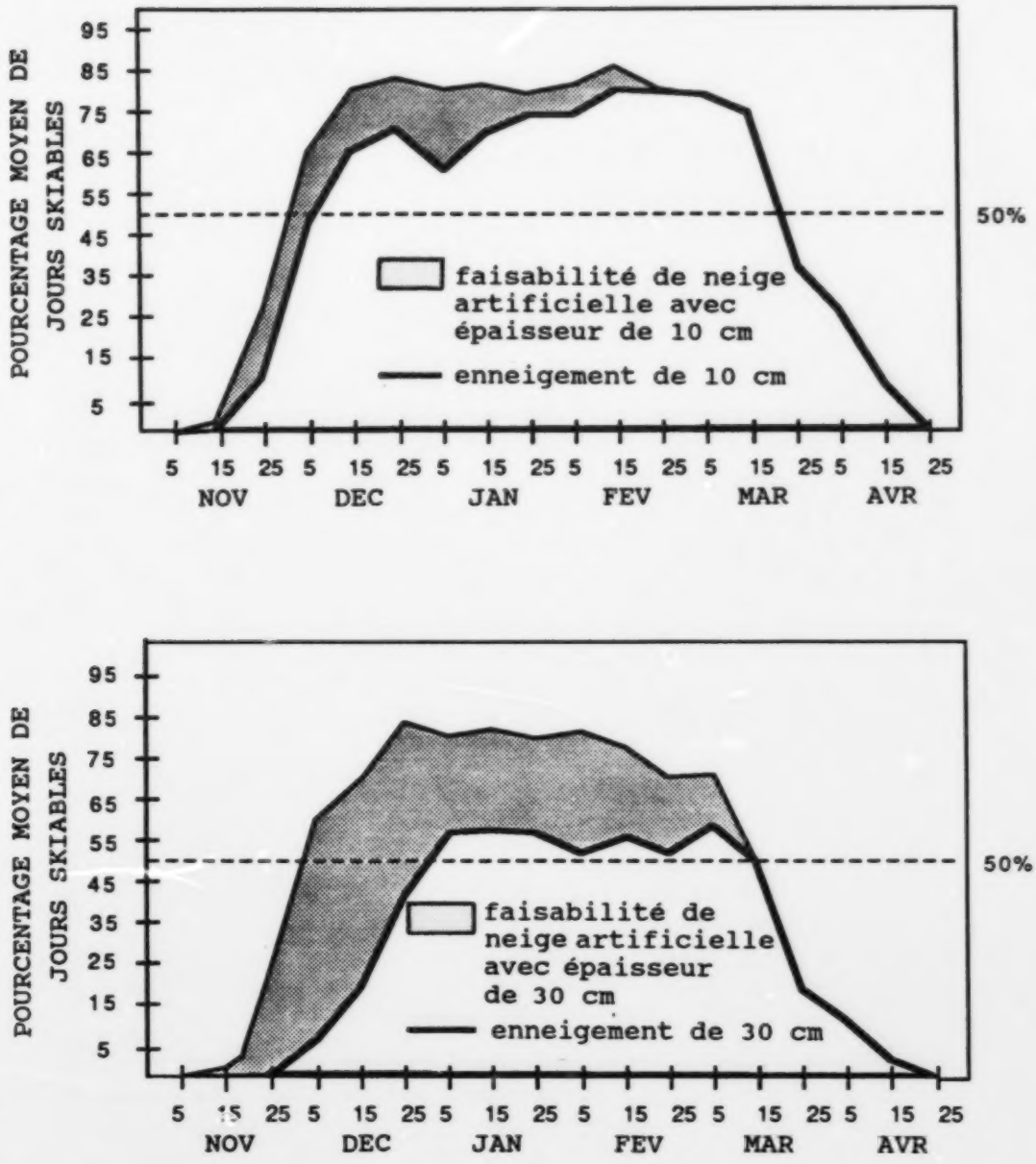


FIGURE 2. Variation décadaire des jours skiables à Sherbrooke

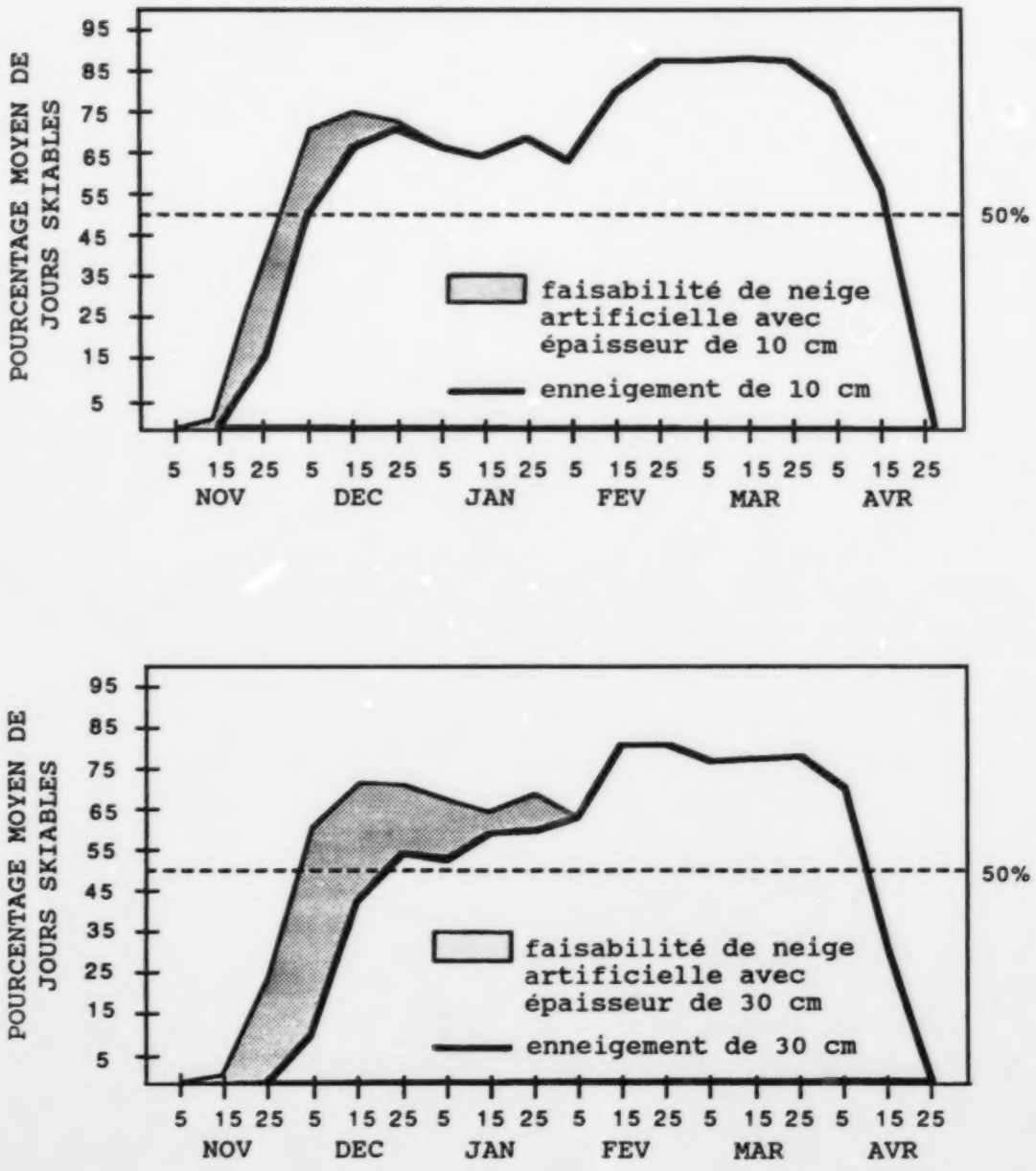


FIGURE 3. Variation décadaire des jours skiables à Québec

À Québec, il est possible de faire du ski alpin durant 105 jours pour un seuil de 10 cm et 83 jours pour une couverture nivale de 30 cm. Similairement aux autres stations, l'emploi de canons à neige est plus profitable pour la saison de ski avec un seuil de 30 cm puisqu'alors le nombre de journées skiables passe à 100 jours.

De façon générale, les centres de ski de l'Estrie sont ceux qui peuvent bénéficier le plus de l'utilisation d'équipements permettant de fabriquer de la neige artificielle.

Ces résultats sont pessimistes. Les saisons d'enneigement ont été analysées à partir des seuils de 10 et de 30 cm tels que suggérés par les exploitants, ce qui demeure plus limitatif que ceux employés dans d'autres études canadiennes. On a aussi considéré un enneigement continu, méthode beaucoup plus restrictive que l'utilisation de la date de la première chute de neige et la date de la disparition de la couverture nivale. Si de tels critères avaient été choisis, la durée des saisons aurait été beaucoup plus longue. De plus, exiger d'avoir une température maximale quotidienne inférieure au point de congélation pour être capable de fabriquer de la neige artificielle est raisonnable mais très restrictif.

Finalement, la comparaison des quantités moyennes de pluie et de neige entre la période 1975-85 et la période 1951-1980 montre que ces dix années ont eu en moyenne plus de pluie et moins de neige que les valeurs normales de 30 ans. Une analyse des conditions favorables au ski alpin entre 1951-80 aurait donc révélé un nombre plus élevé de jours skiables.

5. CONDITIONS FUTURES DU SKI ALPIN

Les deux scénarios de changement climatique utilisés dans cette étude proviennent des sorties de deux modèles à circulation générale: le modèle du Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (Scénario A) et le modèle du Goddard Institute for Space studies (Scénario B). Les deux scénarios donnent les changements prévus des températures et des précipitations mensuelles. Cependant, pour simplifier, on a décidé de ne choisir que le plus pessimiste des deux scénarios (Scénario B) qui prévoit un réchauffement de 4-5 °C au cours de la saison de ski. En plus des températures plus douces, le scénario B prévoit que les précipitations diminueront de 10 à 20 % dans les premiers mois de l'hiver (novembre- décembre) mais resteront près des valeurs climatologiques actuelles pour le reste de la saison de ski.

Pour évaluer l'impact d'un changement climatique sur la pratique du ski alpin, les données climatiques journalières ont été modifiées pour tenir compte des changements de températures et de précipitations prévues par

le scénario B. On a également développé un modèle statistique pour permettre d'estimer l'enneigement quotidien prévu. À partir de ces données physiques et bioclimatiques projetées, on a calculé les valeurs médianes futures (début, fin, durée). Le tableau III donne les répercussions du scénario B sur le nombre annuel moyen de jours skiables pour quatre catégories de facteurs physiques (couverture nivale et faisabilité de neige artificielle).

Le nombre de jours skiables diminue de 50 à 70 % pour un enneigement de 10 cm et de 70 à 90 % pour une couverture nivale de 30 cm. L'emploi des canons à neige limitera cette baisse à environ 50 %. Par exemple, à Sainte-Agathe-des-Monts, la saison avec une base nivale de 10 cm débuterait vers la mi-janvier et ne durerait qu'un mois. Pour un seuil de 30 cm, l'impact serait encore plus néfaste avec une saison ne durant qu'environ deux semaines et débutant au début février. Même avec l'ajout des canons à neige, la période favorable au ski alpin ne débuterait qu'à Noël et se terminerait à la fin de février, soit un total de deux mois.

À Sherbrooke, la période skiable avec un seuil de 10 cm débuterait à la fin de janvier tandis que celle avec un seuil de 30 cm ne permettrait que très peu de jours skiables. La fabrication de neige artificielle allongerait la saison du début janvier à la mi-février.

Finalement, à Québec, la saison avec une épaisseur minimale de neige au sol de 10 cm ne durerait qu'un mois et demi débutant à Noël. Pour un seuil de 30 cm, la durée de la saison serait approximativement d'un mois, se terminant en mi-février. On augmenterait considérablement le nombre de jours skiables par l'emploi des canons à neige donnant ainsi une saison qui irait de la mi-décembre au début mars.

Les modifications climatiques suggérées par le scénario B réduiraient grandement les possibilités de pratiquer le ski alpin au Québec. Par contre, plusieurs facteurs indiquent que la réduction de jours skiables pourrait être moins forte que prévue. Premièrement, le scénario B est le plus pessimiste des deux scénarios de changement climatique. De plus, les critères choisis pour identifier les jours skiables sont rigoureux. Ensuite, les données utilisées proviennent de stations météorologiques et ne reflètent pas toujours l'enneigement observé sur les pistes de ski. Finalement, la période de 10 années examinée (1975-1985) est relativement courte et ne représente pas nécessairement les conditions normales (1951-1980).

6. RETOMBÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES

D'après l'étude de CEGIR en 1982, préparée par le ministère de l'Expansion économique régionale et Tourisme Canada, l'industrie du ski alpin génère près de 12 500 emplois et 205 M $ en revenus annuels au Québec. On estime qu'un jour-ski injecte 34 $ (1981) dans l'économie québécoise.

Tableau III. Valeurs actuelles et prévues du nombre annuel moyen de jours skiables pour quatre catégories de facteurs physiques

	Sainte-Agathe-des-Monts			Sherbrooke			Québec		
	Actuel	Scénario B	% réduction	Actuel	Scénario B	% réduction	Actuel	Scénario B	% réduction
- Couverture nivale de 10 cm	109	36	67	86	27	69	105	51	51
- Couverture nivale de 30 cm	84	11	87	54	7	87	84	25	70
- Faisabilité de neige artificielle supposant une épaisseur minimale de neige au sol de 10 cm	121	60	50	97	51	47	109	63	42
- Faisabilité de neige artificielle supposant une épaisseur minimale de neige au sol de 30 cm	111	58	48	87	49	44	100	58	42

Par exemple, une saison de ski médiocre comme celle de 1982-1983 (saison considérée comme anormale, l'enneigement de 30 cm ayant été limité à janvier et février) n'a généré que 126 M $ en revenus. Par opposition, la saison 1983-1984, marquée par des conditions climatiques favorables, aurait rapporté près de 240 M $ en revenus, soit le double des revenus de la saison 1982-1983.

On suppose que les impacts socio-économiques des changements climatiques sur l'industrie du ski alpin ne seraient cependant pas proportionnels à la réduction du nombre annuel de jours skiables et ce, pour diverses raisons:

a) malgré la réduction anticipée de la saison d'après le scénario B, l'achalandage des centres de ski augmenterait de façon appréciable pendant la période d'opérations, générant ainsi des revenus plus élevés. Les exploitants de centres de ski devront cependant augmenter la capacité des remontées mécaniques, investir plus dans des systèmes perfectionnés de neige artificielle et s'assurer d'un entretien optimal des pentes de ski.

b) Comme d'autres régions à l'extérieur du Québec où se pratique actuellement le ski alpin pourraient également souffrir du changement climatique, on peut s'attendre à une augmentation des skieurs étrangers en provenance des provinces ou états voisins. Cette affirmation s'appuie sur d'autres études suggérant que le changement climatique causerait éventuellement la disparition de l'industrie du ski alpin sur le sud de l'Ontario. L'afflux de skieurs américains est plus difficile à évaluer puisque les centres de ski y sont situés à plus haute altitude et, de plus, jouissent de bons systèmes d'enneigement artificiel. Globalement, l'augmentation des touristes influencerait l'économie régionale par le biais de l'hébergement, de la restauration et d'autres services tertiaires utilisés par les touristes.

c) À l'exception de la région de Québec, on a toutes les raisons de croire que les centres de ski de l'Estrie et des Laurentides, situés à des altitudes similaires à celles de Sherbrooke et Sainte-Agathe-des-Monts, ne pourraient opérer durant la période de Noël sans l'emploi de canons à neige artificielle. Le cas échéant, des pertes de revenus considérables sont donc à prévoir.

En conclusion, les changements climatiques prévus imposeront une adaptation graduelle et un recours généralisé à des équipements de fabrication de neige artificielle, plus particulièrement en Estrie.